

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-186313

(43)Date of publication of application : 16.07.1996

(51)Int.Cl.

H01S 3/103

H01S 3/18

H04B 10/28

H04B 10/02

(21)Application number : 07-015540

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 04.01.1995

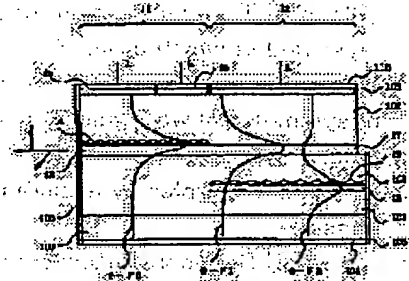
(72)Inventor : SAKATA HAJIME

## (54) POLARIZATION MODULABLE SEMICONDUCTOR LASER AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To obtain a polarization modulable semiconductor laser whose reproducibility is high and whose yield is good and to obtain an optical communication system using it.

**CONSTITUTION:** In a semiconductor laser, one resonator is constituted of a distributed feedback grating 14, of a directional coupler 12 and of a reflection means 106. The semiconductor laser is constituted so as to be capable of being oscillated in any of two orthogonal polarization modes. The semiconductor laser is provided with electrodes 15, 16, 104, 110 which control the coupling wavelength of the directional coupler 12 and the reflection coupling wavelength of the distributed feedback grating 14. By means of a current which flows to the electrodes 15, 16, 104, 110, the coupling wavelength of the directional coupler 12 and the reflection coupling wavelength of the distributed feedback grating 14 are matched in any polarization mode out of two polarization modes, and a polarization mode to be oscillated is selected. In an optical communication system, signal light which has been amplitude modulated by the semiconductor laser and a polarizer or a polarization beam splitter is obtained.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.03.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3246703

[Date of registration] 02.11.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

**\*NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the semiconductor laser which constituted one resonator from a distribution feedback grating, a directional coupler, and a reflective means. This semiconductor laser is constituted so that either in two polarization modes which intersect perpendicularly can be oscillated. Have a means to control the coupled wave length of this directional coupler, and the reflective coupled wave length of this distribution feedback grating, respectively, and selection in the polarization mode to oscillate the coupled wave length of this directional coupler, and the reflective coupled wave length of this distribution feedback grating — this control means — this — the semiconductor laser which is characterized by being carried out by doubling in one polarization mode of two polarization modes and in which a polarization modulation is possible.

[Claim 2] This reflective means is semiconductor laser which is characterized by being a reflective end face and in which a polarization modulation according to claim 1 is possible.

[Claim 3] This distribution feedback grating is semiconductor laser which is characterized by including a barrier layer and in which a polarization modulation according to claim 1 is possible.

[Claim 4] This directional coupler is semiconductor laser which is characterized by consisting of one pair of unsymmetrical waveguides and in which a polarization modulation according to claim 1 is possible.

[Claim 5] Semiconductor laser which is characterized by performing association between the modes in this directional coupler by assistance of a grating and in which a polarization modulation according to claim 1 is possible.

[Claim 6] Semiconductor laser to which one [ at least ] waveguide is characterized by consisting of W mold waveguides surrounded around the core layer by the cladding layer with a refractive index lower than the cladding layer of the whole semiconductor laser among the waveguides which constitute this directional coupler and in which a polarization modulation according to claim 1 is possible.

[Claim 7] Semiconductor laser which is characterized by the oscillation wavelength being adjustable by controlling the current poured into a distribution feedback grating by said control means and in which a polarization modulation according to claim 1 is possible.

[Claim 8] Semiconductor laser which is characterized by being constituted so that the gain in a resonator in said two polarization modes may become almost equal in near the feedback wavelength of this distribution feedback grating and in which a polarization modulation according to claim 1 to 7 is possible.

[Claim 9] Semiconductor laser which is characterized by for said barrier layer having consisted of multiplex quantum wells into which hauling distortion was introduced, and being constituted so that the heavy hole level  $E_{hh0}$  and the light hole level  $E_{lh0}$  which are the level of a hole may become almost equal and in which a polarization modulation according to claim 1 to 7 is possible.

[Claim 10] The optical communication type characterized by transmitting the output light with an optical fiber as a signal light by which amplitude modulation was carried out by letting a polarizer or a polarization beam splitter pass, and detecting it with an optical receiver by carrying out the direct polarization modulation of the semiconductor laser in which a polarization modulation according to claim 1 to 8 is possible.

[Claim 11] The optical communication type characterized by obtaining the signal light by which amplitude modulation was carried out using this semiconductor laser so that the oscillation wavelength might become adjustable by controlling the current poured into the distribution feedback grating of the semiconductor laser in which a polarization modulation according to claim 1 to 8 is possible.

[Claim 12] The optical communication type characterized by carrying out wavelength division multiplying so that two or more semiconductor laser in which a polarization modulation according to claim 1 to 8 is possible is connected, it may become irregular, respectively, the light of two or more wavelength may be made to transmit and only the signal put on the light of desired wavelength with the optical receiver equipped with the optical filter or the splitter may be taken out.

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention stops dynamic wavelength variation also in the time of a high-speed modulation etc., and relates to the optical communication type using the semiconductor laser and this which enable oscillation control in the polarization mode which intersects perpendicularly with stability especially about the semiconductor laser for realizing wavelength division multiplex optical communication of high density etc. and in which a polarization modulation is possible.

[0002]

[Description of the Prior Art] To expand transmission capacity in the optical-communication field in recent years is desired, and development of wavelength multiplexing (WDM) transmission which carried out multiplex [ of two or more wavelength or optical frequency ] to one optical fiber is performed. In order to make [ many / as possible ] transmission capacity, it is important to narrow wavelength spacing. For that purpose, it is desirable for the selection bandwidth of a wavelength filter or a splitter to be small, and for the occupancy frequency band or spectral line width of laser used as the light source to be small. For example, since it is the transparency bandwidth of about 0.03nm with a semi-conductor DFB filter with a wavelength adjustable width of face of 3nm, multiplex [ of 100 channels ] is ideally possible. However, it is required in this case that the spectral line width of the light source should be 0.03nm or less. In the present condition, if even the DFB laser known as semiconductor laser which carries out a dynamic single mode oscillation performs a direct ASK modulation, dynamic wavelength variation will occur, spectral line width will spread to about 0.3nm, and it will not be fit for such wavelength multiplex transmission.

[0003] then, in order to stop such wavelength variation, use an external modulator on the strength, or. For example, ( "lambda / 4 shift DFB laser / absorption mold optical modulator accumulation light source" besides Suzuki, the collection of Institute of Electronics, Information and Communication Engineers study group drafts, OQE 90-45, p.99, 1990), Direct FSK modulation technique (for example) M. J. Chawski et al. "1.5 Gbit/s FSK transmission system using two electrode DFB laser as a tunable FSK discriminator/photodetector", Electron. Lett. vol.26 No.15 p.1146 1990, The direct polarization modulation technique (JP,2-159781, A specification) etc. is devised.

[0004] The three above-mentioned examples are compared. In the case of an external modulator, since wavelength variation is the last-minute engine performance and its mark of equipment also increase to a \*\*\*\* and a specification by about 0.03nm, it is not desirable in respect of cost etc. Moreover, it is necessary to operate the filter of a receiving side as wavelength discrimination equipment, and, in the case of FSK, a complicated control technique is needed. On the other hand, equipment mark do not increase only by a polarization modulation forming the usual DFB laser into many electrodes, but wavelength variation is still smaller compared with an external modulation method, and a transmission signal has the advantage that loads, such as a filter of a receiving side, are small, for ASK.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] As mentioned above, although a polarization modulation is a suitable modulation technique for wavelength multiplex transmission etc., it does not have the positive means for enabling control of polarization by the conventional proposal. For the reason, there were troubles, like implementation of a device with high repeatability is difficult, and need to be adjusted after production, and the yield is bad. Therefore, the purpose of this invention is to offer the optical communication type using the semiconductor laser and this

which solved the above-mentioned trouble and in which a polarization modulation is possible.

[0006]

[Means for Solving the Problem] In order that this invention may offer a practical polarization modulation technique typically, this semiconductor laser can be oscillated in two polarization modes which intersect perpendicularly using the semiconductor laser which constituted one resonator from a distribution feedback grating and a directional coupler with an active region, and a reflector (typically reflective end face), and selection in the polarization mode is performed by controlling the zone-of-junction region of this directional coupler.

[0007] In a detail, the semiconductor laser in which the polarization modulation of this invention is possible It is the semiconductor laser which constituted one resonator from a distribution feedback grating, a directional coupler, and a reflective means. This semiconductor laser is constituted so that either in two polarization modes which intersect perpendicularly can be oscillated. Have a means (for example, two or more electrodes) to control the coupled wave length of this directional coupler, and the reflective coupled wave length of this distribution feedback grating, respectively, and selection in the polarization mode to oscillate the coupled wave length of this directional coupler, and the reflective coupled wave length of this distribution feedback grating — this control means — this — it is characterized by being carried out by doubling in one polarization mode of two polarization modes.

[0008] Specifically, it is possible to take the following gestalten. A reflective means is a reflective end face. A distribution feedback grating contains a barrier layer. A directional coupler consists of one pair of unsymmetrical waveguides. Association between the modes in a directional coupler is performed by assistance of a grating. One [ at least ] waveguide consists of W mold waveguides surrounded around the core layer by the cladding layer with a refractive index lower than the cladding layer of the whole semiconductor laser among the waveguides which constitute a directional coupler. The oscillation wavelength is adjustable in controlling the current poured into a distribution feedback grating by the control means. In near the feedback wavelength of this distribution feedback grating, the gain in a resonator in two polarization modes is constituted so that it may become almost equal. A barrier layer consists of multiplex quantum wells into which hauling distortion was introduced, and it is constituted so that the heavy hole level  $E_{hh0}$  and the light hole level  $E_{lh0}$  which are the level of a hole may become almost equal.

[0009] Moreover, the optical communication type of this invention is characterized by transmitting the output light with an optical fiber as a signal light by which amplitude modulation was carried out by letting a polarizer or a polarization beam splitter pass, and detecting it with an optical receiver by carrying out the direct polarization modulation of the semiconductor laser in which the above-mentioned polarization modulation is possible. Moreover, it is characterized by obtaining the signal light by which amplitude modulation was carried out using this semiconductor laser so that the oscillation wavelength might become adjustable by controlling the current poured into the distribution feedback grating of the semiconductor laser in which the above-mentioned polarization modulation is possible.

[0010] Furthermore, the optical communication type of this invention is characterized by carrying out wavelength division multiplying so that two or more semiconductor laser in which the above-mentioned polarization modulation is possible is connected, it may become irregular, respectively, the light of two or more wavelength may be made to transmit and only the signal put on the light of desired wavelength with the optical receiver equipped with the optical filter or the splitter may be taken out.

[0011]

[The 1st example] Concretely, the principle of this invention is explained based on drawing 1 . In the semiconductor laser which consists of 2 of the distribution feedback grating field 11 and the directivity joint field 12 fields, in the distribution feedback grating field 11, the laminating of the appearance and the barrier layer 13 in which only specific wavelength is reflected is carried out, and the grating 14 of a fine period is formed in the location with which the mode field in the mode 3 laps.  $\lambda_{DFB}$ , then distribution feedback wavelength  $\lambda_{DFB}$  are expressed [ effective refractive index / of the mode 3 ] with  $\lambda_{DFB}=2N_{eff}\lambda_{DFB}$  in the period of  $N_{eff}$  and a grating 14. Wavelength  $\lambda_{DFB}$  is changed with the current passed to electrodes 15 and 16. In the directivity joint field 12, the laminating of the waveguides 17 and 18 is carried out, and the two modes in which it has main reinforcement in each waveguide 17 and 18 are materialized. The grating 19 of a comparatively rude period is formed in the location with which the mode field in the mode 1 and the mode 2 laps. The impurity is doped so that a slanting cut or light absorption may become strong at the appearance which does not reflect the right end of the waveguide layer 17 of the directivity joint field 12. Combining the mode 1 as strongly as the mode 3 of the distribution feedback grating field 11, the mode 2 hardly combines the mode 3 except the wavelength with

which are satisfied of the Bragg condition of the grating 19 of this comparatively rude period.  $\lambda_{DC}$ , then coupled wave length  $\lambda_{DC} = |\lambda_{eff}(1) - \lambda_{eff}(2)|$  in the effective refractive index in the mode 1 and the mode 2 about the period of  $\lambda_{eff}(1)$ ,  $\lambda_{eff}(2)$ , and the comparatively rude grating 19, respectively. It is expressed with  $\lambda_{DC}$ .

[0012] Although the mode took up and explained the linearly polarized wave by the above explanation, the TM mode to which the TE mode and it parallel to a substrate side, and electric field cross at right angles exists with unsymmetrical structure in every direction like semiconductor laser. This coupled wave length  $\lambda_{DC}$  serves as a different value to two polarization modes which intersect perpendicularly. By controlling the current poured into the electrode 110 of the directivity joint field 12, coupled wave length  $\lambda_{DC}$  is changed, at a certain time,  $\lambda_{DC}$  of the TE mode is done to  $\lambda_{DC}$  of the TM mode at a certain time, and a change-over can do. On the other hand, the difference is few although wavelength  $\lambda_{DFB}(s)$  which return in the distribution feedback grating field 11 also differ somewhat depending on polarization mode. If a current is poured into the distribution feedback grating field 11, the gain of a barrier layer 13 will go up. In this condition, by switching the polarization mode (TE or TM mode) combined in the directivity joint field 12, it is reflected by the end face 106 of the waveguide layer 18, and only (coupled wave length  $\lambda_{DC}$  in the polarization mode to combine is doubled with feedback wavelength  $\lambda_{DFB}$ ), waveguide 17, and the light that shifted 18 between are fed back to the distribution feedback grating field 11, and turns into laser oscillation light. Since the slanting cut etc. is performed, the mode 1 is reflected and the end face by the side of the directivity joint field 12 of the up waveguide 17 does not return to the distribution feedback grating field 11.

[0013] the above configurations — oscillation wavelength — the distribution feedback grating field 11 — it is — moreover, a switch of polarization — the directivity joint field 12 — \*\* — since it is independently controllable, respectively, a stable polarization modulation can be performed also at the time of wavelength tuning.

[0014] The 1st example by this invention is explained to a detail. n-InP from which drawing 1 is the sectional view of the semiconductor laser by this example, and 100 becomes a substrate, The n-InP layer from which 101 becomes a clad, the lower waveguide layer which consists of n-InGaAsP in which 18 forms a directional coupler and which was mentioned above, The grating which 19 aids with a directional coupler and which was mentioned above, the waveguide layer common to 2 which 17 becomes from Undoping InGaAsP fields mentioned above, The barrier layer to which the distorted superstructure which consists of ten layer (5nm in thickness) of In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As(5nm in thickness)/In<sub>0.28</sub>Ga<sub>0.72</sub>As(es) of undoping mentioned 13 above, The fine grating to which 14 performs distributed coupling of hard flow and which was mentioned above, and 102 A p-InP cladding layer, 103 A p-In<sub>0.59</sub>Ga<sub>0.41</sub>As<sub>0.9</sub>P<sub>0.1</sub> contact layer, It is the high reflecting layer from which 15, the electrode Cr/AuZnNi/Au layer from which 16, 110 was separated in the separation slot where the contact layer 103 was removed, and which was mentioned above, the AuGeNi/Au layer whose 104 is substrate 100 lateral electrode, and 105 become an acid-resisting layer, and 106 becomes a reflector. Here, since the barrier layer 13 is the multiplex quantum well layer which pulls and has distortion and has designed equally the transition energy of  $E_{lh0} - E_{e0}$  and  $E_{hh0} - E_{e0}$  (it explains immediately in the bottom), compared with the usual semiconductor laser, its oscillation threshold in TM polarization is low, and it has the composition that a polarization switch can be carried out efficiently.

[0015] With the above-mentioned configuration, the wavelength corresponding to the ground level transition energy ( $E_{hh0} - E_{e0}$ ) of 1.56 micrometers (TM mode), a heavy hole, and an electron in the wavelength corresponding to the ground level transition energy ( $E_{lh0} - E_{e0}$ ) of a light hole and an electron is also set to 1.56 micrometers (TE mode). Moreover, although the emission spectrum of the TE mode and the TM mode laps mostly, the distribution feedback wavelength by the grating 14 has set the pitch of a grating 14 as 0.24 micrometers so that it may lap with the main wavelength of gain mostly. Although the feedback wavelength 21 and 22 (refer to drawing 2) in the distribution feedback grating field 11 of the TE mode and the TM mode is all near the wavelength of 1.56 micrometers, it shifts somewhat depending on the structure of devices, such as horizontal \*\*\*\*\* structure of waveguide 17, and a layer presentation. However, they are usually about 3 – 6nm.

[0016] Here, the coupled wave length of the directional coupler by the coarse grating 19 has the value from which about 30nm of polarization dependencies usually differs to the TE mode and the TM mode strongly. Therefore, if the coupled wave length 23 of the TE mode of the activity directivity joint field 12 aligns by pouring a current into an electrode 110 so that the feedback wavelength 21 (here 1.56 micrometers) of the distribution feedback grating field 11 may be included as shown in drawing 2 (a), the coupled wave length 24 of the TM mode will serve as near 1.53 micrometer inevitably.

[0017] Here, by passing a current to electrodes 15 and 16, a barrier layer 13 is excited and spontaneous emission

light arises. In the directivity joint field 12, since selection association only of the TE mode is carried out, among spontaneous emission light, it is reflected at the high reflective edge 106, and only the TE mode returns to the distribution feedback grating field 11. In the distribution feedback grating field 11, strong reflection arises on feedback wavelength and an oscillation on the feedback wavelength determined in the distribution feedback grating field 11 arises in the TE mode after all. Next, if it controls to the feedback wavelength of the distribution feedback grating field 11 so that the TM mode joins together so that it changes and the inrush current to the directivity joint field 12 is shown in drawing 2 (b), the laser oscillation in the TM mode will happen according to the same device. Thus, switching of TE/TM mode takes place by current control to an electrode 110.

[0018] In this example, although the lower waveguide 18 of the distribution feedback grating field 11 is deleted, if the grating 19 is not formed, since association between waveguide 17 and 18 is not produced, as long as it restricts formation of a grating 19 to the directivity joint field 12, it may leave lower waveguide to the distribution feedback grating field 11.

[0019] The semiconductor laser of this invention was used for drawing 3, the modulating signal on the strength was transmitted, and the block diagram of the optical transmission system which receives was shown. By letting the optical output from semiconductor laser 31 pass to a polarizer 32, as shown in drawing 3, and taking out only TE polarization (or TM polarization), the on-the-strength amplitude signal of a high extinction ratio is acquired. Under the present circumstances, although mode change of TE/TM is produced, since there is almost no fluctuation of the laser output luminous intensity itself, the chirping by carrier fluctuation of a barrier layer 13 becomes very small (since the transition energy of  $E_{lh0}-E_{e0}$  and  $E_{hh0}-E_{e0}$  is designed equally). It is made to combine with an optical fiber 34 through an isolator 33, and TE light chosen with the polarizer 32 is transmitted. The transmitted light is detected by the photodetector 35. At this time, ASK transmission which is obtained 20dB or more, therefore has this extinction ratio is possible for the extinction ratio of TE and TM.

[0020] The chirping was very small at the time of the polarization modulation of the semiconductor laser of this invention, and when only the TE-mode output was observed, it was confirmed that wavelength variation is 0.03nm or less. Moreover, it was shown that the modulation band of a polarization modulation is also 1GHz or more.

[0021] The example which performed optical transmission using the semiconductor laser by this invention is explained along with drawing 4. In drawing 4, 41 is semiconductor laser in which wavelength control and an extinction ratio are controlled by stability, and the polarization modulation is carried out by this invention. Wavelength is changeable in 3nm with wavelength spacing extent of 6GHz (about 0.05nm) with this semiconductor laser 41 (it carries out by controlling the current to the electrodes 15 and 16 of drawing 1). Moreover, in a polarization modulation, since the dynamic wavelength variation called a chirping which becomes a problem by the usual direct intensity modulation is very small as 2GHz or less, when carrying out wavelength multiplexing, even if it arranges at intervals of 6GHz, a cross talk is not given to the next channel. Therefore, when this

semiconductor laser is used, 3 wavelength multiplexing of about 0.05nm, 60 channels is possible. This semiconductor laser 41 unites with a polarization beam splitter 42, and constitutes the \*\*\*\*\* value 40. From this optical sending set 40, it is made to combine with an optical fiber 43, and the light by which outgoing radiation was carried out is transmitted. In the optical receiving set 45, selection spectral separation of the light of a desired wavelength channel is carried out with an optical filter 46, and signal detection of the signal light which transmitted the fiber coupler 44 is carried out by the photodetector 47. Here, the thing of the structure same as an optical filter 46 as a DFB laser is used below for a threshold, carrying out bias of the current. By changing the rate of a current ratio of two electrodes, it is fixed 20dB in transparency gain, and transmitted wave length can be changed in 3nm. Moreover, the transparency width of face of 10dB down of this filter 46 is \*\*\*\*\* which is 0.03 and has sufficient property to carry out wavelength multiplexing at intervals of 0.05nm. [0022] which may use what has the same wavelength transparency width of face as an optical filter 46, for example, a MAHATSUENDA mold, Fabry-Perot, etc.

[The 2nd example] The 2nd example by this invention is explained along with drawing 5. Although the structure of the distribution feedback grating field 11 is the same as the 1st example almost, a grating does not exist in the directivity joint field 12. In order to give wavelength selection nature (polarization mode selection nature), the lower waveguide layer serves as W mold waveguide. Unlike the usual step mold waveguide (for example, waveguide 17 is also considerable), W mold waveguide has a refractive index with the clad 52 lower than the whole semiconductor laser clad 54 around a core 51. Therefore, the wavelength dispersion of trapped mode 2 differs from a step mold greatly, the wavelength with which the mode 1 and the mode 2 synchronize is limited, and strong wavelength selection nature is shown. With this structure, although the degree of freedom of a coupled wave length bandwidth (see the coupled wave length 23 and 24 of drawing 2) is low as compared with the grating

assistant mold shown in the 1st example, there is no radiation loss resulting from a grating, and it has the efficient description. About the principle of operation, it is the same as that of the above-mentioned example.

[0023] Although the grating layer 14 of the distribution feedback grating field 11 and the waveguide layer 17 common to two fields are the same as that of the 1st example, it differs about a barrier layer, a lower waveguide layer, and a cladding layer. That is, a barrier layer 55 consists of InGaAs made into the symmetry in every direction, and has the same gain to the TE mode and the TM mode. moreover, the n-InGaAsP core layer and layer 52 from which a layer 51 constitutes W mold waveguide — layers 53 and 54 — low — a p-InGaAsP cladding layer and the layer 54 of a refractive index n-InP cladding layer and a layer 53 are n-InGaAsP cladding layers. Moreover, the lower waveguide layer is formed only in the directivity joint field 12 so that association may not be caused in the distribution feedback grating field 11. The period of the grating 14 of the distribution feedback grating field 11 etc. is the same as the 1st example. Polarization switching and wavelength control of TE/TM mode were able to be performed like the above-mentioned example by controlling the inrush current of two fields 11 and 12. The 2nd example as well as the 1st example can be used for drawing 3 and the optical communication type like drawing 4 .

[0024]

[Effect of the Invention] By this invention, the semiconductor laser in which the very small polarization modulation of dynamic wavelength variation is possible can be realized, and a high density wavelength-multiplex-optical-telecommunications system etc. can be built using the direct polarization modulation technique which used this.

---

[Translation done.]

#### \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

#### DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] Drawing explaining the structure of the semiconductor laser by this invention.

[Drawing 2] Drawing showing the principle of operation of the semiconductor laser by this invention.

[Drawing 3] Drawing explaining the optical communication type using the semiconductor laser by this invention.

[Drawing 4] Drawing explaining other optical communication types using the semiconductor laser by this invention.

[Drawing 5] Drawing showing the structure of other semiconductor laser by this invention.

[Description of Notations]

11 Distribution Feedback Grating Field

12 Directivity Joint Field

13 55 Barrier layer

14 Grating Which Causes Distribution Feedback

15 16,110,104 Electrode

17 18 Waveguide

19 Grating Which Causes Directivity Association

21 and 22 each in a distribution feedback grating field — feedback wavelength of the TE mode and the TM mode

23 and 24 each in a directivity joint field — coupled wave length of the TE mode and the TM mode

31 41 Semiconductor laser

32 42 A polarizer or polarization beam splitter

33 Optical Isolator

34 43 Optical fiber

35 47 Photodetector

40 Optical Sending Set

44 Fiber Coupler

45 Optical Receiving Set

46 Optical Filter

53, 54, 101, 102 Cladding layer

100 Substrate

103 Contact Layer

105 Antireflection Film

106 High Reflective Film

---

[Translation done.]



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A).

(11)特許出願公開番号

特開平8-186313

(43)公開日 平成8年(1996)7月16日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

FI

### 技術表示箇所

H O 1 S 3/103

3/18

H O 4 B 10/28

10/02

H04B 9/00

W

審査請求 未請求 請求項の数12 FD (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平7-15540

(22) 出願日 平成7年(1995)1月4日

(71)出願人. 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 坂田 肇

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

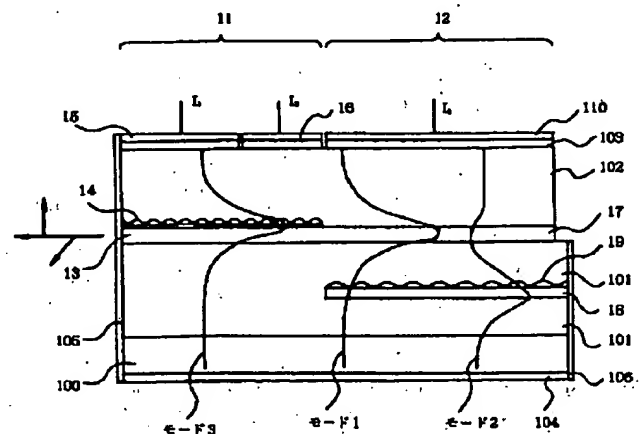
(74)代理人 弁理士 加藤 一男

(54) 【発明の名称】 偏波変調可能な半導体レーザおよびこれを用いた光通信方式

(57) 【要約】

【目的】再現性が高く歩留まりの良い偏波変調可能な半導体レーザおよびこれを用いた光通信方式である。

【構成】半導体レーザで、分布帰還グレーティング14と方向性結合器12と反射手段106とで1つの共振器を構成する。半導体レーザは直交する2つの偏波モードのいずれでも発振が可能なように構成される。方向性結合器14の結合波長と分布帰還グレーティング14の反射結合波長とを夫々制御する電極15、16、104、110を備える。電極15、16、104、110に流す電流より、方向性結合器12の結合波長と分布帰還グレーティング14の反射結合波長とを、2つの偏波モードのいずれかの偏波モードにおいて合わせることで、発振する偏波モードの選択が行なわれる。光通信方式では、この半導体レーザと偏光子もしくは偏波ビームスプリッタとで振幅変調された信号光を得る。



(2)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 分布帰還グレーティングと方向性結合器と反射手段とで1つの共振器を構成した半導体レーザであって、該半導体レーザは直交する2つの偏波モードのいずれでも発振が可能なように構成され、該方向性結合器の結合波長と該分布帰還グレーティングの反射結合波長とを夫々制御する手段を備え、発振する偏波モードの選択は、該方向性結合器の結合波長と該分布帰還グレーティングの反射結合波長とを、該制御手段により、該2つの偏波モードのいずれかの偏波モードにおいて合わせる

ることにより行なわれることを特徴とする偏波変調可能な半導体レーザ。

【請求項2】 該反射手段は反射端面であることを特徴とする請求項1記載の偏波変調可能な半導体レーザ。

【請求項3】 該分布帰還グレーティングは活性層を含むことを特徴とする請求項1記載の偏波変調可能な半導体レーザ。

【請求項4】 該方向性結合器は1対の非対称導波路から構成されることを特徴とする請求項1記載の偏波変調可能な半導体レーザ。

【請求項5】 該方向性結合器におけるモード間の結合が、グレーティングの補助で行われることを特徴とする請求項1記載の偏波変調可能な半導体レーザ。

【請求項6】 該方向性結合器を構成する導波路のうち少なくとも一方の導波路が、コア層の周囲に半導体レーザ全体のクラッド層よりも屈折率の低いクラッド層で囲まれたW型導波路で構成されることを特徴とする請求項1記載の偏波変調可能な半導体レーザ。

【請求項7】 前記制御手段により分布帰還グレーティングに注入する電流を制御することでその発振波長が可変であることを特徴とする請求項1記載の偏波変調可能な半導体レーザ。

【請求項8】 前記2つの偏波モードにおける共振器内利得が、該分布帰還グレーティングの帰還波長付近において、ほぼ等しくなるように構成されていることを特徴とする請求項1乃至7のいずれかに記載の偏波変調可能な半導体レーザ。

【請求項9】 前記活性層が、引っ張り歪が導入された多重量子井戸で構成され、ホール準位であるヘビーホール準位 $E_{hh0}$ とライトホール準位 $E_{lh0}$ がほぼ等しくなる様に構成されたことを特徴とする請求項1乃至7のいずれかに記載の偏波変調可能な半導体レーザ。

【請求項10】 請求項1乃至8のいずれかに記載の偏波変調可能な半導体レーザを直接偏波変調して、その出力光を偏光子もしくは偏波ビームスプリッタを通すことにより、振幅変調された信号光として、光ファイバで伝送し光受信器で検波することを特徴とする光通信方式。

【請求項11】 請求項1乃至8のいずれかに記載の偏波変調可能な半導体レーザの分布帰還グレーティングに注入する電流を制御することでその発振波長が可変にな

るように該半導体レーザを使用して振幅変調された信号光を得ることを特徴とする光通信方式。

【請求項12】 請求項1乃至8のいずれかに記載の偏波変調可能な半導体レーザを複数接続し、複数の波長の光を夫々変調して伝送させ、光フィルタもしくは分波器を備えた光受信器により所望の波長の光にのせた信号のみを取り出す様に、波長分割多重通信することを特徴とする光通信方式。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、高速変調時などにおいても動的波長変動を抑え、安定に高密度の波長分割多重光通信等を実現する為の半導体レーザに関するものであり、特に、直交する偏波モードの発振制御を可能とする偏波変調可能な半導体レーザ及びこれを用いた光通信方式に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、光通信分野において伝送容量を拡大することが望まれており、複数の波長あるいは光周波数を1本の光ファイバに多重させた波長多重(WDM)伝送の開発が行なわれている。伝送容量をなるべく多くする為には、波長間隔を狭くすることが重要である。その為には、波長フィルタあるいは分波器の選択帯域幅が小さく、光源となるレーザの占有周波数帯域あるいはスペクトル線幅が小さいことが望ましい。例えば、波長可変幅3nmの半導体DFBフィルタでは、透過帯域幅0.03nm程度である為、理想的には100チャネルの多重が可能である。しかし、この場合、光源のスペクトル線幅が0.03nm以下であることが要求される。現状では、動的単一モード発振する半導体レーザとして知られるDFBレーザでさえも、直接ASK変調を行なうと動的波長変動が起きてスペクトル線幅が0.3nm程度まで広がってしまい、このような波長多重伝送には向かない。

【0003】 そこで、このような波長変動を抑える為、外部強度変調器を用いたり(例えば、鈴木他, "λ/4シフトDFBレーザ/吸収型光変調器集積光源", 電子情報通信学会研究会予稿集, OQE90-45, p. 99, 1990)、直接FSK変調方式(例えば、M. J. Chawski et al., "1.5 Gbit/s FSK transmission system using two electrode DFB laser as a tunable FSK discriminator/photodetector", Electron. Lett. vol. 26, No. 15, p. 1146, 1990)、直接偏波変調方式(特開平2-159781号明細書)などが考案されている。

【0004】 上記3つの例を比較してみる。外部変調器の場合、波長変動が0.03nm程度あり、仕様に対し

(3)

てぎりぎりの性能であり、装置の点数も増える為コストなどの面で好ましくない。また、FSKの場合、受信側のフィルタを波長弁別装置として機能させる必要があり、複雑な制御技術を必要とする。一方、偏波変調は、通常のDFBレーザを多電極化するだけで装置点数は増えず、波長変動が外部変調方式に比べてさらに小さく、伝送信号はASKの為、受信側のフィルタ等の負荷が小さいという利点がある。

【0005】

【発明が解決しようとしている課題】以上の様に偏波変調は、波長多重伝送等に好適の変調方式であるが、従来の提案では、偏波の制御を可能とする為の積極的手段を有していない。その為、再現性の高いデバイスの実現が困難であり、また、作製後の調整が必要で歩留まりが悪いなどの問題点があった。よって、本発明の目的は、上記問題点を解決した偏波変調可能な半導体レーザおよびこれを用いた光通信方式を提供することにある。

【0006】

【課題を解決する為の手段】本発明は、典型的には、実用的な偏波変調方式を提供する為に、活性領域を持つ分布帰還グレーティングと方向性結合器と反射器（典型的には、反射端面）とで1つの共振器を構成した半導体レーザを用い、該半導体レーザは直交する2つの偏波モードで発振が可能で、その偏波モードの選択は該方向性結合器の結合帯域を制御することにより行なう。

【0007】詳細には、本発明の偏波変調可能な半導体レーザは、分布帰還グレーティングと方向性結合器と反射手段とで1つの共振器を構成した半導体レーザであって、該半導体レーザは直交する2つの偏波モードのいずれでも発振が可能のように構成され、該方向性結合器の結合波長と該分布帰還グレーティングの反射結合波長とを夫々制御する手段（例えば、複数の電極）を備え、発振する偏波モードの選択は、該方向性結合器の結合波長と該分布帰還グレーティングの反射結合波長とを、該制御手段により、該2つの偏波モードのいずれかの偏波モードにおいて合わせることににより行なわれることを特徴とする。

【0008】具体的には、以下の形態を取ることが可能である。反射手段は反射端面である。分布帰還グレーティングは活性層を含む。方向性結合器は1対の非対称導波路から構成される。方向性結合器におけるモード間の結合が、グレーティングの補助で行われる。方向性結合器を構成する導波路のうち少なくとも一方の導波路が、コア層の周囲に半導体レーザ全体のクラッド層よりも屈折率の低いクラッド層で囲まれたW型導波路で構成される。制御手段により分布帰還グレーティングに注入する電流を制御することでその発振波長が可変である。2つの偏波モードにおける共振器内利得が、該分布帰還グレーティングの帰還波長付近において、ほぼ等しくなるように構成されている。活性層が、引っ張り歪が導入され

た多重量子井戸で構成され、ホール準位であるヘビーホール準位 $E_{hh0}$ とライトホール準位 $E_{lh0}$ がほぼ等しくなる様に構成される。

【0009】また、本発明の光通信方式は、上記偏波変調可能な半導体レーザを直接偏波変調して、その出力光を偏光子もしくは偏波ビームスプリッタを通すことにより、振幅変調された信号光として、光ファイバで伝送し光受信器で検波することを特徴とする。また、上記偏波変調可能な半導体レーザの分布帰還グレーティングに注入する電流を制御することでその発振波長が可変になるように該半導体レーザを使用して振幅変調された信号光を得ることを特徴とする。

【0010】更に、本発明の光通信方式は、上記偏波変調可能な半導体レーザを複数接続し、複数の波長の光を夫々変調して伝送させ、光フィルタもしくは分波器を備えた光受信器により所望の波長の光にのせた信号のみを取り出す様に、波長分割多重通信することを特徴とする。

【0011】

【第1実施例】具体的に、図1をもとに本発明の原理を説明する。分布帰還グレーティング領域11と方向性結合領域12の2領域からなる半導体レーザにおいて、分布帰還グレーティング領域11では、特定の波長のみが反射される様、活性層13が積層され、モード3のモードフィールドが重なる位置に細かい周期のグレーティング14が形成されている。モード3の実効屈折率を $N_{eff}$ 、グレーティング14の周期を $\Lambda_{DFB}$ とすれば、分布帰還波長 $\lambda_{DFB}$ は $\lambda_{DFB} = 2 N_{eff} \Lambda_{DFB}$ で表される。電極15、16に流す電流で波長 $\lambda_{DFB}$ を変化させる。方向性結合領域12では、導波路17、18が積層されていて、夫々の導波路17、18に中心強度を有する2つのモードが成立する。モード1とモード2のモードフィールドが重なる位置には比較的荒い周期のグレーティング19が形成されている。方向性結合領域12の導波路層17の右端は、反射しない様に斜めカット若しくは光吸収が強くなるよう不純物がドーピングされている。モード1は分布帰還グレーティング領域11のモード3と強く結合し、モード2はこの比較的荒い周期のグレーティング19のブラッグ条件を満足する波長以外ではモード3とは殆ど結合しない。モード1とモード2の実効屈折率を夫々 $N^{(1)}_{eff}$ 、 $N^{(2)}_{eff}$ 、比較的荒いグレーティング19の周期を $\Lambda_{DC}$ とすれば、結合波長 $\lambda_{DC}$ は $\lambda_{DC} = \frac{1}{N^{(1)}_{eff} - N^{(2)}_{eff}} \Lambda_{DC}$ で表される。

【0012】以上の説明では、モードは直線偏波を取りあげて説明したが、半導体レーザのような縦横非対称な構造では、電界が基板面に平行なTEモードとそれと直交するTMモードが存在する。直交する2つの偏波モードに対して、この結合波長 $\lambda_{DC}$ は異なった値となる。方向性結合領域12の電極110に注入する電流を制御することにより、結合波長 $\lambda_{DC}$ を変化させ、或る時はTE

(4)

5

モードの $\lambda_{DC}$ 、或る時はTMモードの $\lambda_{DC}$ に切換ができる。一方、分布帰還グレーティング領域11で帰還される波長 $\lambda_{DFB}$ も偏波モードに依存し多少異なるがその差は僅かである。分布帰還グレーティング領域11に電流を注入すると、活性層13の利得が上昇する。この状態で、方向性結合領域12で結合する偏波モード(TE若しくはTMモード)を切り換えることにより(結合する偏波モードの結合波長 $\lambda_{DC}$ を帰還波長 $\lambda_{DFB}$ に合わせる)、導波路17、18間移行した光のみが、導波路層18の端面106で反射され、分布帰還グレーティング領域11にフィードバックされてレーザ発振光となる。上部導波路17の方向性結合領域12側の端面は、斜めカットなどが施されている為、モード1が反射されて分布帰還グレーティング領域11に戻ることはない。

【0013】以上の様な構成により、発振波長は分布帰還グレーティング領域11で、また、偏波の切り換えは方向性結合領域12でと夫々独立に制御出来る為、波長チューニング時にも安定な偏波変調を行うことができる。

【0014】本発明による第1実施例を詳細に説明する。図1は本実施例による半導体レーザの断面図で、100は基板となるn-InP、101はクラッドとなるn-InP層、18は方向性結合器を形成するn-InGaAsPからなる上述した下部導波路層、19は方向性結合器をアシストする上述したグレーティング、17はアンドープInGaAsPからなる2領域共通の上述した導波路層、13はアンドープのIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As(厚さ5nm)/In<sub>0.28</sub>Ga<sub>0.72</sub>As(厚さ5nm)10層からなる歪超格子構造の上述した活性層、14は逆方向の分布結合を行う上述した細かいグレーティング、102はp-InPクラッド層、103はp-In<sub>0.59</sub>Ga<sub>0.41</sub>As<sub>0.9</sub>P<sub>0.1</sub>コンタクト層、15、16、110はコンタクト層103が除去された分離溝で分離された上述した電極Cr/AuZnNi/Au層、104は基板100側電極であるAuGeNi/Au層、105は反射防止層、106は反射器となる高反射層である。ここで、活性層13は引っ張り歪をもつ多重量子井戸層になっており、 $E_{lh0}-E_{e0}$ と $E_{hh0}-E_{e0}$ (すぐ下で説明)の遷移エネルギーを等しく設計してある為、通常の半導体レーザに比べるとTM偏波での発振しきい値が低く、効率よく偏波切り換えできる構成になっている。

【0015】上記構成では、ライトホールと電子の基底準位遷移エネルギー( $E_{lh0}-E_{e0}$ )に対応する波長は1.56 $\mu$ m(TMモード)、ヘビーホールと電子の基底準位遷移エネルギー( $E_{hh0}-E_{e0}$ )に対応する波長も1.56 $\mu$ m(TEモード)となる。また、TEモードとTMモードの発光スペクトルはほぼ重なるが、グレーティング14による分布帰還波長は利得の中心波長とほぼ重なるようグレーティング14のピッチを0.24 $\mu$

6

mに設定している。TEモードとTMモードの分布帰還グレーティング領域11における帰還波長21及び22(図2参照)は、いずれも波長1.56 $\mu$ m付近であるが、導波路17の横閉じ込め構造や層組成などデバイスの構造に依存し多少ずれる。しかし、通常3-6nm程度である。

【0016】ここで、粗いグレーティング19による方向性結合器の結合波長は、偏波依存性が強くTEモードとTMモードに対して通常30nm程度異なる値を持つ。したがって、図2(a)に示すように活性方向性結合領域12のTEモードの結合波長23が、分布帰還グレーティング領域11の帰還波長21(ここでは1.56 $\mu$ m)を含むように電極110に電流を注入して同調を行なえば、必然的にTMモードの結合波長24は1.53 $\mu$ m付近となる。

【0017】ここで、電極15、16に電流を流すことにより、活性層13が励起され自然放光が生じる。方向性結合領域12ではTEモードのみが選択結合されるため、自然放光のうちTEモードのみが高反射端106で反射されて分布帰還グレーティング領域11に帰還される。分布帰還グレーティング領域11では、帰還波長で強い反射が生じ、結局、分布帰還グレーティング領域11で決定される帰還波長での発振がTEモードで生じる。次に、方向性結合領域12への注入電流を変化し、図2(b)に示すように分布帰還グレーティング領域11の帰還波長に対して、TMモードが結合するように制御すれば、同様の機構により、TMモードでのレーザ発振が起こる。このようにして、電極110への電流制御によりTE/TMモードのスイッチングが起こる。

【0018】本実施例では、分布帰還グレーティング領域11の下部導波路18は削除されているが、グレーティング19が形成されていなければ、導波路17、18間の結合は生じないので、グレーティング19の形成を方向性結合領域12に限れば、分布帰還グレーティング領域11に下部導波路を残しても構わない。

【0019】図3に本発明の半導体レーザを用いて強度変調信号を伝送し、受信する光伝送系のブロック図を示した。半導体レーザ31からの光出力を図3に示したように偏光子32に通してTE偏波(もしくはTM偏波)のみを取り出すことにより、高い消光比の強度振幅信号が得られる。この際、TE/TMのモード変化は生じるが、レーザ出力光の強度自体の変動はほとんどない為

( $E_{lh0}-E_{e0}$ と $E_{hh0}-E_{e0}$ の遷移エネルギーを等しく設計してあるので)、活性層13のキャリア変動によるチャージングが極めて小さくなる。偏光子32によって選択されたTE光は、アイソレータ33を通して光ファイバ34に結合させて伝送する。伝送された光は光検出器35にて検出される。このとき、TEとTMの消光比は20dB以上得られ、したがって、この消光比をもつASK伝送が可能である。

(5)

【0020】本発明の半導体レーザの偏波変調時にチャープピングは極めて小さく、TEモード出力のみを観測したところ波長変動は0.03nm以下であることが確かめられた。また、偏波変調の変調帯域も1GHz以上であることが示された。

【0021】本発明による半導体レーザを用いて光伝送を行なった実施例を図4に沿って説明する。図4において、41は本発明によって波長制御及び消光比が安定に制御され偏波変調されている半導体レーザである。この半導体レーザ41では、波長間隔6GHz（約0.05nm）程度で、3nmの範囲で波長を変えられる（図1の電極15、16への電流を制御して行う）。また、偏波変調では、通常の直接強度変調で問題になるようなチャープピングと呼ばれる動的波長変動が2GHz以下と非常に小さい為、波長多重する場合に6GHz間隔で並べても隣のチャンネルにクロストークを与えることはない。従って、この半導体レーザを用いた場合、3/0.05=60チャンネル程度の波長多重が可能である。この半導体レーザ41は偏光ビームスプリッタ42と一体化して光送信装置40を構成している。この光送信装置40から出射された光を光ファイバ43に結合させ伝送する。ファイバカップラ44を伝送した信号光は、光受信装置45において、光フィルタ46により所望の波長チャンネルの光が選択分波され、光検出器47により信号検波される。ここでは、光フィルタ46としてDFBレーザと同じ構造のものを、しきい値以下に電流をバイアスして使用している。2電極の電流比率を変えることで、透過利得を20dB一定で透過波長を3nmの範囲で変えることができる。また、このフィルタ46の10dBダウンの透過幅は0.03であり、0.05nmの間隔で波長多重するのに十分な特性を持っている。光フィルタ46として、同様の波長透過幅を持つもの、例えば、マハツェンダ型、ファブリペロ型などを用いてもよい。

#### 【0022】

【第2実施例】本発明による第2の実施例を図5に沿って説明する。分布帰還グレーティング領域11の構造はほぼ第1実施例と同様であるが、方向性結合領域12にはグレーティングが存在しない。波長選択性（偏波モード選択性）を持たせる為、下部導波路層はW型導波路となっている。W型導波路は、通常のステップ型導波路（例えば、導波路17も相当）と異なり、コア51の周囲のクラッド52が半導体レーザの全体クラッド54より低い屈折率となっている。そのため、導波モード2の波長分散がステップ型と大きく異なり、モード1とモード2が同期する波長が限定され、強い波長選択性を示す。この構造では、結合波長バンド幅（図2の結合波長23、24を参照）の自由度は第1実施例で示したグレーティングアシスト型と比較して低い、グレーティングに起因する放射損失がなく、高効率である特徴を有する。動作原理に関しては上記実施例と同様である。

8

【0023】分布帰還グレーティング領域11のグレーティング層14及び2領域共通の導波路層17は第1実施例と同様であるが、活性層、下部導波路層、クラッド層については異なる。即ち、活性層55は縦横対称としたInGaAsからなり、TEモード及びTMモードに対して同様の利得を持つ。また、層51はW型導波路を構成するn-InGaAsPコア層、層52は層53、54より低屈折率なn-InPクラッド層、層53はp-InGaAsPクラッド層、層54はn-InGaAsPクラッド層である。また、下部導波路層は分布帰還グレーティング領域11で結合を起こさないように方向性結合領域12のみに形成されている。分布帰還グレーティング領域11のグレーティング14の周期等は第1実施例と同じである。2領域11、12の注入電流を制御することにより、上記実施例と同様にTE/TMモードの偏波スイッチング及び波長制御を行うことができた。第2実施例も、第1実施例と同様に、図3、図4の如き光通信方式に使用できる。

#### 【0024】

【発明の効果】本発明により、動的波長変動の極めて小さい偏波変調可能な半導体レーザが実現でき、これを使用した直接偏波変調方式を用いて、高密度波長多重光通信システム等を構築できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による半導体レーザの構造を説明する図。

【図2】本発明による半導体レーザの動作原理を表わす図。

【図3】本発明による半導体レーザを用いた光通信方式を説明する図。

【図4】本発明による半導体レーザを用いた他の光通信方式を説明する図。

【図5】本発明による他の半導体レーザの構造を示す図。

#### 【符号の説明】

- 11 分布帰還グレーティング領域
- 12 方向性結合領域
- 13、55 活性層
- 14 分布帰還を起こすグレーティング
- 15、16、110、104 電極
- 17、18 導波路
- 19 方向性結合を起こすグレーティング
- 21、22 分布帰還グレーティング領域における夫々TEモード、TMモードの帰還波長
- 23、24 方向性結合領域における夫々TEモード、TMモードの結合波長
- 31、41 半導体レーザ
- 32、42 偏光子もしくは偏光ビームスプリッタ
- 33 光アイソレータ
- 34、43 光ファイバ

(6)

35、47 光検出器

40 光送信装置

44 ファイバカップラ

45 光受信装置

46 光フィルタ

53、54、101、102、

クラッド層

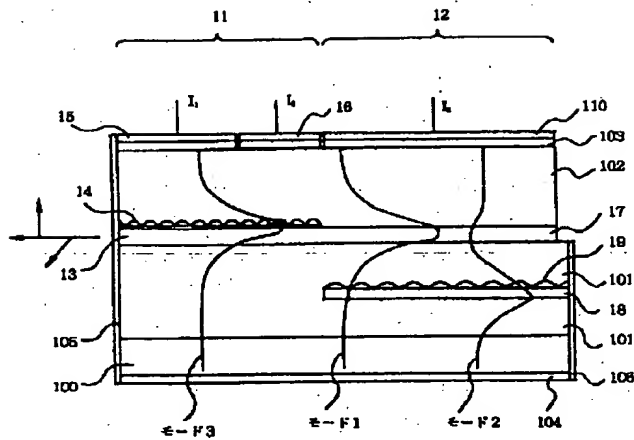
100 基板

103 コンタクト層

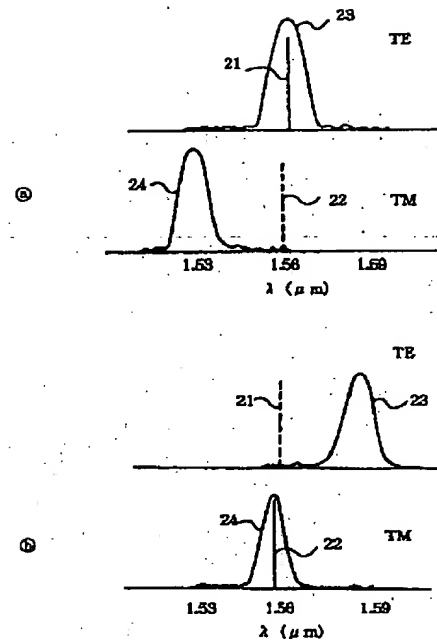
105 反射防止膜

106 高反射膜

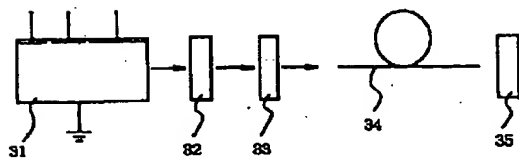
【図1】



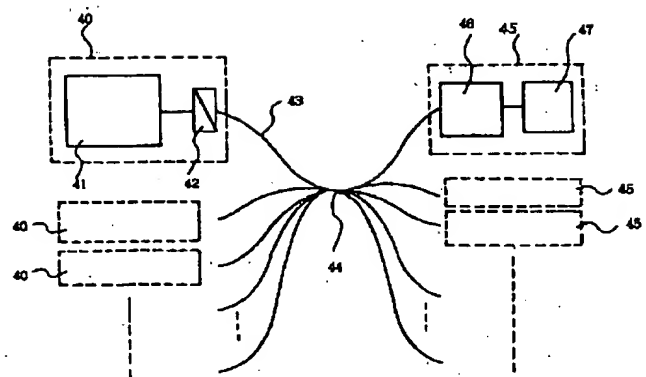
【図2】



【図3】



【図4】



(7)

【図5】

